

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"**

Кафедра нанотехнологий и микросистемной техники

Авторы-составители: **Спивак Лев Волькович**
Сосунов Алексей Владимирович
Волинцев Анатолий Борисович

Рабочая программа дисциплины

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОСТРУКТУРЫ

Код УМК 93715

Утверждено
Протокол №9
от «13» мая 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Инструментальные методы определения наноструктуры

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в обязательную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **28.03.01** Нанотехнологии и микросистемная техника
направленность Материалы микро- и наносистемной техники

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Инструментальные методы определения наноструктуры** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника (направленность : Материалы микро- и наносистемной техники)

ПК.1 Способен исследовать и контролировать структуру вещества на атомно-молекулярном уровне с помощью различных инструментальных методов

Индикаторы

ПК.1.2 Применяет современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне

ПК.4 Способен проектировать и сопровождать изготовление опытных партий новых объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники

Индикаторы

ПК.4.2 Контролирует результаты технологических процессов производства объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники

4. Объем и содержание дисциплины

| | |
|---|--|
| Направления подготовки | 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника (направленность: Материалы микро- и наносистемной техники) |
| форма обучения | очная |
| №№ триместров, выделенных для изучения дисциплины | 11 |
| Объем дисциплины (з.е.) | 3 |
| Объем дисциплины (ак.час.) | 108 |
| Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе: | 42 |
| Проведение лекционных занятий | 14 |
| Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку | 28 |
| Самостоятельная работа (ак.час.) | 66 |
| Формы текущего контроля | Защищаемое контрольное мероприятие (3) |
| Формы промежуточной аттестации | Зачет (11 триместр) |

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

1. Оптическая микроскопия

В данном разделе рассматриваются основы оптической микроскопии, света, как носителя информации. Оптический дифракционный предел. Устройство и принцип работы оптического микроскопа. Его преимущества и недостатки.

2. Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия

В данном разделе рассматриваются следующие аспекты электронной микроскопии:

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ):

- история открытия;
- взаимодействие электронного зонда с веществом;
- принцип работы и устройства;
- применение ПЭМ, возможности и ограничения;
- подготовка образцов.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ):

- взаимодействие электронного зонда с веществом;
- принцип работы и устройства;
- артефакты изображений;
- анализ химического состава образцов;
- применение СЭМ.

3. Сканирующая туннельная микроскопия

В данном разделе рассматриваются физические аспекты зондовых методов исследования структуры наноматериалов. Типы взаимодействий. Технические аспекты устройства зондовых микроскопов. Физические основы пьезосканеров. Явление туннелирования электронов через одномерный потенциальный барьер. Вольт-амперные характеристики. Возможности туннельной микроскопии.

4. Атомно-силовая, магнитная, акустическая, тепловая, электросиловая микроскопии

Раздел посвящен зондовым микроскопам, работающим на различных принципах взаимодействия зондового датчика с поверхностью образцов. Рассматриваются принцип работы и устройства зондовых микроскопов. Устройство консолей, технология их изготовления и параметры. Техника зондовых микроскопов (сканеры, механика, позиционирование). Режимы исследования характеристик материалов, в том числе наноматериалов.

5. Рамановская и ИК-спектроскопии

В данном разделе рассматриваются методы ИК-спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния света. История открытия. Физические основы данных методов. Возможности и ограничения. Устройства спектроанализаторов.

6. Вольтамперометрия

Раздел посвящен вольтамперометрии — метод анализа, основанный на исследовании зависимости тока поляризации от напряжения, прикладываемого к электрохимической ячейке, когда электрический потенциал рабочего электрода значительно отличается от равновесного значения. По разнообразию методов вольтамперометрия — самая многочисленная группа из всех электрохимических методов анализа материалов. Рассматриваются физические принципы работы и устройства. Примеры различных материалов, наноматериалов. Практическое применение для накопителей энергии (суперконденсаторов) высокой мощности.

7. Наноиндентирование

Раздел посвящен испытанию материалов методом индентирования, применяемое к нанобъектам

материала (тонкие плёнки и покрытия, микро- и наноструктуры) для исследования их механических свойств и структурного анализа. Рассматриваются физические основы микро- и наноиндентирования. Прикладываемые нагрузки, форма инденторов и модели внедрения.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Филимонова, Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур. Сканирующая зондовая микроскопия. Часть I : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 134 с. — ISBN 978-5-7782-2158-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/45104.html>
2. Величко, А. А. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур. Часть II : учебное пособие / А. А. Величко, Н. И. Филимонова. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2014. — 227 с. — ISBN 978-5-7782-2534-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/45105.html>

Дополнительная:

1. Наноматериалы: свойства и перспективные приложения:[сборник]/[А. Б. Ярославцев, В. К. Иванов, П. П. Федоров и др.].-Москва:Научный мир,2014, ISBN 978-5-91522-393-5.-455.-Библиогр. в конце разд.
2. Семенова О. Р. Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия:учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров "Нанотехнологии и микросистемная техника"/О. Р. Семенова.-Пермь,2021, ISBN 978-5-7944-3637-2.-132.-Библиогр.: с. 127-128

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

www.xumuk.ru Сайт о химии

<http://www.iprbookshop.ru/88492.html> 1. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур

<http://www.iprbookshop.ru/67572.html> Приборы и методы исследования наноматериалов фотоники

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Инструментальные методы определения наноструктуры** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС) ;
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

1. Операционная система "ALT Linux".
2. Приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC».
3. Программы, демонстрации видео материалов (проигрыватель) «WindowsMediaPlayer».
4. Программа просмотра интернет контента (браузер) «Google Chrome» или аналогичных.
5. Офисный пакет приложений «LibreOffice».

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (student.psu.ru).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой или маркерной доской.

Лабораторные занятия проходят в Лаборатории материаловедения, оснащенной специализированным оборудованием. Состав оборудования определен в Паспорте лаборатории.

Групповые (индивидуальные) консультации проводятся в аудитории, оснащенной меловой (и) или маркерной доской.

Текущий контроль осуществляется в аудитории, оснащенной меловой (и) или маркерной доской.

К помещениям для самостоятельной работы студентов относятся:

- Аудитория для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-

образовательную среду университета.

• Помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Инструментальные методы определения наноструктуры**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.
Индикаторы и критерии их оценивания**

ПК.4

Способен проектировать и сопровождать изготовление опытных партий новых объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники

| Компетенция (индикатор) | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|--|---|--|
| ПК.4.2 Контролирует результаты технологических процессов производства объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники | Знать классификацию инструментальных методов, применяемых в нанотехнологиях, физические принципы их функционирования, области применения и возможности. Уметь выбирать необходимые инструментальные методы изучения наноструктурных материалов, исходя из задач конкретного исследования. | <p align="center">Неудовлетворител</p> <p>обучающийся не может даже кратко охарактеризовать тему вопроса и ему не помогают подсказки и наводящие вопросы экзаменатора.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>обучающийся дает лишь краткие сведения по теме вопроса</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>затруднения ответа по некоторым аспектам темы вопроса, если обучающийся может воспользоваться подсказками и наводящими вопросами экзаменатора</p> <p align="center">Отлично</p> <p>полный ответ на вопрос, понимание места рассматриваемой темы в общем контексте дисциплины</p> |

ПК.1

Способен исследовать и контролировать структуру вещества на атомно-молекулярном уровне с помощью различных инструментальных методов

| Компетенция (индикатор) | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|--|---|---|
| ПК.1.2 Применяет современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне | Знать современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне. Уметь применять современные инструментальные методы исследования наноматериалов и материалов для микросистемной техники. | <p align="center">Неудовлетворител</p> <p>обучающийся не может даже кратко охарактеризовать тему вопроса и ему не помогают подсказки и наводящие вопросы экзаменатора.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>обучающийся дает лишь краткие сведения по теме вопроса</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>затруднения ответа по некоторым аспектам темы вопроса, если обучающийся может воспользоваться подсказками и наводящими</p> |

| Компетенция (индикатор) | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|------------------------------------|--|--|
| | | Хорошо вопросами экзаменатора Отлично полный ответ на вопрос, понимание места рассматриваемой темы в общем контексте дисциплины |

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Зачет

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

| Компетенция (индикатор) | Мероприятие текущего контроля | Контролируемые элементы результатов обучения |
|--|---|--|
| ПК.1.2 Применяет современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне | 2. Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопии Защищаемое контрольное мероприятие | Знать устройство оптического микроскопа. Знать особенности, принцип работы, физические принципы растровой электронной микроскопии. Знать особенности, принцип работы, физические принципы просвечивающей электронной микроскопии. Знать физические основы рентгеноспектрального микроанализа. |
| ПК.4.2 Контролирует результаты технологических процессов производства объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники | 4. Атомно-силовая, магнитная, акустическая, тепловая, электросиловая микроскопии Защищаемое контрольное мероприятие | Знать особенности, принцип работы, физические принципы туннельной микроскопии. Знать особенности, принцип работы, физические принципы атомно-силовой микроскопии. Знать особенности, принцип работы (устройство), физические принципы акустической и тепловой микроскопии. Знать особенности, принцип работы (устройство), физические принципы магнитной и электросиловой микроскопии. |

| Компетенция (индикатор) | Мероприятие текущего контроля | Контролируемые элементы результатов обучения |
|--|--|--|
| ПК.1.2 Применяет современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне | 7. Наноиндентирование Защищаемое контрольное мероприятие | Знать особенности, принцип работы (устройство) и физические принципы ИК-спектроскопии. Знать особенности, принцип работы (устройство) и физические принципы Рамановской спектроскопии. Знать особенности, принцип работы (устройство) и физические принципы наноиндентирования. Знать физические основы электрохимических исследований материалов. |

Спецификация мероприятий текущего контроля

2. Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопии

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

| Показатели оценивания | Баллы |
|--|-------|
| Знать особенности, принцип работы, физические принципы растровой электронной микроскопии. | 13 |
| Знать физические основы рентгеноспектрального микроанализа. | 10 |
| Знать особенности, принцип работы, физические принципы просвечивающей электронной микроскопии. | 10 |
| Знать устройство оптического микроскопа. | 7 |

4. Атомно-силовая, магнитная, акустическая, тепловая, электросиловая микроскопии

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

| Показатели оценивания | Баллы |
|---|-------|
| Знать особенности, принцип работы, физические принципы туннельной микроскопии. | 13 |
| Знать особенности, принцип работы (устройство), физические принципы магнитной и электросиловой микроскопии. | 10 |
| Знать особенности, принцип работы, физические принципы атомно-силовой микроскопии. | 10 |
| Знать особенности, принцип работы (устройство), физические принципы акустической и тепловой микроскопии. | 7 |

7. Наноиндентирование

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **9**

| Показатели оценивания | Баллы |
|---|--------------|
| Знать особенности, принцип работы (устройство) и физические принципы Рамановской спектроскопии. | 7 |
| Знать особенности, принцип работы (устройство) и физические принципы ИК-спектроскопии. | 6 |
| Знать особенности, принцип работы (устройство) и физические принципы наноиндентирования. | 4 |
| Знать физические основы электрохимических исследований. | 3 |